

TUDEK 2013

Szerző: Veres Kincső

Bolyai Farkas Elméleti Líceum

Marosvásárhely

Fizika kategória

Felkészítő tanár: Szász Ágota

Táncoló vízcseppek

Tartalomjegyzék

Bevezető.....	1
1. Leidenfrost jelenség.....	2
1.1 Történelmi háttér.....	2
1.2 A Leidenfrost-tűnemény magyarázata	2
1.3 Matematikai leírása és a gázok hővezetése.....	2
2 Hasonló jelenségek	3
2.1 Tűzönjárás.....	3
2.2 Megolvadt ólom.....	3
2.3 Cseppfolyós Nitrogén	3
3 Gyakorlati munkák	3
3.1 A víz és alkohol Leidenfrost-pontjának meghatározása	4
3.2 A gázok hővezetésének bemutatása	4
4 A jelenség fontossága és gyakorlati alkalmazásai	4
4.1 Hőáramlási folyamatok atomreaktoroknál.....	4
4.2 Az acél edzése.....	5
5 Következtetés.....	5
6 Irodalom:	5
7 Melléklet.....	6

Bevezető

A víz egy nagyon gyakori és különleges vegyület a Földön, furcsa tulajdonságai vannak. Mindhárom halmazállapotban megtalálható, különböző jelenségekben vesz részt és az emberi élet egyik meghatározó feltétele. Ezért szerettem volna én is, noha nem az összes jelenséggel, amiben részt vesz, de legalább egygel részletesebben foglalkozni.

Valószínűleg sokan észrevették már, hogy amikor a forró fémre vizet cseppentünk, a folyadékcsepp elkezdi „szaladni” a felületen. Én is erre figyeltem fel és kíváncsi lettem valójában miért és hogyan is történik ez. Elkezdtem keresgélni könyvekben és az interneten is, nemsokára rá is találtam a magyarázatára. A jelenséget Leidenfrost-tűneménynek nevezik és több kutakodás után találtam pár más jelenséget, amelyeket ezzel a Leidenfrost-jelenséggel lehet megmagyarázni, összekapcsolni.

1. Leidenfrost jelenség

1.1 Történelmi háttér

A jelenséget 1732-ben Herman Boerhaave figyelte meg, azonban Leidenfrost Johann Gotlob egy német doktor és teológus tanulmányozta és írta le először az 1756-ban kiadott „Értekezés a közönséges víz néhány tulajdonságáról” című könyvében, később róla nevezték el a Leidenfrost-tűneményt is.

A jelenséggel felfedezése után több ideig nem foglalkoztak, részletesebb leírásokat az 1990-es évektől napjainkig publikált dolgozatokban találtam. Azonban manapság ez az egyszerű jelenség fontosabb szerepet játszik az iparban és a mindennapokban, mint azt gondolnánk.

1.2 A Leidenfrost-tűnemény magyarázata

Ez a jelenség azt mutatja be, hogy ha vizet (a kísérletet bármilyen más folyadékkal is el lehet végezni) rácseppentünk a forráspontjánál jelentősen melegebb fémfelületre, akkor a vízcseppet egy gőzréteg veszi körül, ami hőszigetelőként viselkedik és lassítja a folyadékcsepp forráspontra való hevülését, így annak párolgását is. Ennek következtében a víz hosszabb ideig marad a forró fémfelületen és lebeg 0,1 mm-re a felszínen. Ezért van az, hogy a forró fémlapra cseppentett víz több ideig „táncol” a felületen. (1. ábra)

A fémlap hőmérsékletének növelésével a vízcsepp élettartama egy ideig növekszik, majd csökkenni kezd. Azt a hőmérsékletet, ahol a legtöbb ideig marad meg a folyadék, Leidenfrost-pontnak nevezik, ami ebben az esetben (vízre nézve a szakirodalom szerint) 310°C. A Leidenfrost-pont értékét Zuber egyenletből számíthatjuk ki amelyet a későbbiekben tárgyalunk. Ez az érték függ a felülettől is ezekre pár példát a táblázatban láthatunk. (2. ábra)

A Leidenfrost-tűnemény fordítottja, amikor hideg vízbe 200°C-os fémgolyót helyezünk, ami a vízcsepphez hasonlóan vízgőzt képez maga köré.

Ha nagyobb vízcseppnél lép fel a jelenség a vízcsepp elkezd rezegni és különböző formákat ölthet fel. Ez azonban függ attól is, hogyan csepegtetjük a folyadékot és a jelenséget elég nehéz előidézni és fényképet is készíteni róla. A 3. ábrán láthatunk egy képet ezzel a jelenséggel.

1.3 Matematikai leírása és a gázok hővezetése

A matematikai leírását a jelenségnek a hővezetés egyenleteivel lehet levezetni.

Hővezetés az energia térbeli terjedésének az a formája, amikor a hő egy közeg egyik - magasabb hőmérsékletű - részéből annak másik része felé történő "áramlása" során a közeget alkotó részecskék elmozdulása nem számottevő illetve rendezetlen. (Például az egyik végén melegített rúd másik vége is, felmelegszik, az energia a rúd melegebb végétől hővezetéssel jut a másik végéhez.)

A szilárd testekben lejátszódó hővezetési folyamatokat a legtöbb esetben az okozza, hogy azok a felszíni hőmérsékletüktől eltérő hőmérsékletű folyadékkal (gázzal) érintkeznek. A szilárd felszín és a folyadék határon át való hőterjedés a **hőátadás**. A hőátadás alapegyenlete Newton nyomán:

$$q = \alpha \cdot F \cdot (T_w - T_{\text{foly}})$$

q - a szilárd test felszínén fellépő hőáram, mértékegysége W

α - a hőátadási tényező, mértékegysége $W/(m^2K)$

F - a folyadékkal érintkező felület, mértékegysége m^2

T_w - a test felszínének hőmérséklete, mértékegysége K

T_{foly} - a folyadék hőmérséklete, mértékegysége K

Fourier törvénye szerint egy homogén testben a hőáram a csökkenő hőmérsékletek irányába

mutat, arányos a terjedési irányú, hosszegységenkénti hőmérséklet-változással és az erre az irányra merőleges keresztmetszettel:

$$q = -\lambda \cdot F \cdot \Delta T / \Delta x$$

q - a hőáram, az F felületen időegységenként átáramlott energia, mértékegysége: W

λ - a hővezetési tényező, az adott test anyagjellemzője, mértékegysége: W / m·K

F - a hővezető keresztmetszet, mértékegysége: m²

$\Delta T / \Delta x$ - a hőmérséklet-eloszlás, mértékegysége: K/m

Ezekből az egyenletekből lehet levezetni differenciál számításokkal **Zuber egyenletét**:

$$\frac{q}{A_{min}} = Ch_{fg}\rho_v \left[\frac{\sigma g (\rho_L - \rho_v)}{(\rho_L + \rho_v)^2} \right]^{1/4}$$

C – Zuber konstans,

h - a hőátadási koefficiens,

ρ – víz/gőz sűrűségek,

g – gravitációs gyorsulás

σ - Stefan Boltzmann állandó.

2 Hasonló jelenségek

2.1 Tűzönjárás

A Tűzönjárás próbája, végigsétálni a frissen gereblyézett 600-700 °C-os parázsszőnyegen. Sok elméleti fejtegetés, és tudományos vizsgálat született arról, hogy miért képes minden ember sértetlenül megtenni 4-5 lépést ilyen extrém hőmérsékletű talajon (4. ábra). Ennek tanulmányozására 1930-ban a londoni egyetem fizikusai két tűzön járást is szerveztek. A vizsgálatok azt állapították meg, hogy a tűzönjárásnak nincs köze a hithez vagy a természetfeletti erőkhez. A jelenség arra épül, hogy a fa hővezető képessége alacsony, a lábak és a parázs közti érintkezés ideje megfelelően rövid ahhoz, hogy megakadályozza égési sérülés kialakulását a talpon.

2.2 Megolvadt ólom

Meghökkenítő mutatványnak minősül az is, ha valaki sérülések és bármilyen védőfelszerelés nélkül belemártja a kezét megolvadt ólomba. Habár lehetetlennek tűnik, valójában nagyon egyszerű magyarázata van. A bemutató a mutatvány előtt kezét gondosan vízbe áztatja, a lényeg ugyanis abban rejlik, hogy a forró ólomból a kézbe áramló hő a kéz felületén a víz elpárologtatására fordítódik, a víz tetemes párolgáshője pedig megvédi a kéz bőrfelületét a forró ólomtól. Természetesen a bemerítést is és a kéz kihúzását is a megfelelő gyorsasággal kell végezni. (5. ábra)

2.3 Cseppfolyós Nitrogén

A Leidenfrost-jelenséghez hasonló reakcióval találkozunk a folyékony nitrogén esetében is amikor szobahőmérsékletre kerül. Mivel a cseppfolyós nitrogén légköri nyomáson –195,8 °C-on forr, ezért ahogyan szobahőmérsékletű közegbe kerül rögtön elpárolog.

Ezt szerencsém volt nekem is megfigyelni, amikor egy rendezvény keretében folyékony nitrogénnel kísérleteztünk az osztállyal. (6. ábra)

Meghökkenítő mutatvány az is, ha folyékony nitrogént fúj ki a szájából a bemutató.

3 Gyakorlati munkák

3.1 A víz és alkohol Leidenfrost-pontjának meghatározása

A kísérletet elég nehéz volt elvégezni, mert pontosan kellett mérjem a hőmérsékletet, a vízcseppek térfogatát és az időt, ezért a kísérlethez egy homokfürdőt készítettem: egy fémlábast megtöltöttem homokkal, amibe egy másik félgömb alakú edénykét és egy állványt állítottam, hogy legyen amihez rögzítsek egy higanyos hőmérőt. A hőmérő mérési tartománya 0-360°C, a beosztásai 2°C-onként vannak. A félgömb alakú rozsdamentes acél edénykébe pipetta segítségével de-ionizált vizet csepegtettem (7. ábra). A vízcseppek élettartamát stopperrel mértem, ami percet és másodpercet is mutat.

A kísérlet során a vízcsepp a hőmérséklet növekedésével mind gyorsabban és gyorsabban párologott el, majd egy adott hőmérsékleten fellépett a Leidenfrost-tűnemény, amikor a vízcsepp köré a magas hőmérséklet miatt egy vízgőz réteg keletkezett és a vízcsepp lebegni kezdett, majd a lebegő vízcsepp élettartama a Leidenfrost-pont elhaladása után megint csökkenni kezdett.

A kísérletet többször is elvégeztem, hogy mérési hibát tudjak számolni. Azonban mindig eltérő eredményeket kaptam, amíg nem stabilizáltam a vízcseppek nagyságát (egy pipetta segítségével a vízcseppeket egyenletesen tudtam csepegtetni, amelyek 0,05ml/50µl nagyságúak voltak). Az eredmények a mérési táblázatban láthatóak (9. ábra) és grafikonon vannak ábrázolva. (8. ábra) A késsel jelölt adatok az elpárologott vízcseppek idejét jelentik. Az párologási idő folyamatosan csökkent, majd 290°C-nál a csepp kettévált és fellépett a Leidenfrost-jelenség, ekkor az elpárologási idő nőni kezdett. A pirossal jelölt adatok azokat a cseppeket jelentik, amelyeknél fennállt a Leidenfrost-tűnemény teljes mértékben. Az elpárologási idő amint elhaladta a Leidenfrost-pontot (az én méréseim alapján 335°C) újból csökkenni kezdett, sajnos a rendelkezésemre álló műszerek hiányossága miatt nem tudtam a kísérletet tovább folytatni.

Ugyanezt a kísérletet alkohollal is elvégeztem. Mivel az alkohol forráspontja alacsonyabb (70°C), mint a vízé a Leidenfrost pontja is kisebb lesz. A mérések során kapott az eredményeket az 10.- 11. ábrán láthatjuk.

3.2 A gázok hővezetésének bemutatása

A Leidenfrost jelenség során fellépő vízpárologás és gázáramlás szemléltetésére a következő kísérletet végeztem el:

A kísérlethez először egy tűzálló tégelyt akartam használni és felülről pipettával csepegtetni a vizet, amit piros tintával színeztem meg, hogy jobban legyen látható, de mivel a tégelynek nagyon érdes volt a felülete nem lépett fel a Leidenfrost jelenség. (12.-13. ábra) Így ugyanazt a félgömb alakú rozsdamentes acél edénykét használtam, mint az előző kísérletben, de ezúttal megfordítottam, hogy a gázok áramlását ki tudjam vetíteni egy vetítővászon és egy lámpa segítségével. Mivel amikor fellép a Leidenfrost-jelenség a vízcsepp táncolni kezd a felületen ebben az esetben meg kellett állítsam, hogy ne peregjen le a felületről, egy kötőtű segítségével, amelyet közvetlenül az edény fölé helyeztem. A vizet piros tintával színeztem meg, hogy jobban legyen látható. (14. ábra)

Amikor fellépett a Leidenfrost-jelenség a kivetítőn lehetett látni, ahogyan a vízcsepp lebeg és fentartják a gőzök, azonban ezt elég nehéz volt megörökíteni fényképezőgép segítségével, mert a fényviszonyok miatt nem látszik a gőz annyira a képeken.

4 A jelenség fontossága és gyakorlati alkalmazásai

4.1 Hőáramlási folyamatok atomreaktoroknál

Az atomerőművi biztonsági elemzések szempontjából napjainkban is az egyik leginkább kutatott terület az erőműben lejátszódó áramlási folyamatok vizsgálata. Az egyik különösen fontos területet a reaktortartályon belüli keveredési folyamatok jelentik, ezek ugyanis meghatározzák a reaktor aktív zónájába jutó hűtőközeg hőmérsékletét, amely kihat a reaktivitás-változásokra is. A másik fontos terület a forráskrízisek elkerülése, mivel ezek a berendezések tönkremeneteléhez

vezethetnek.

Ezeket a folyamatokat kutató tudományágat termohidraulikának nevezzük és számos kutatásról beszámoló dolgozatot találtam ezzel kapcsolatban. A legnagyobb probléma a Leidenfrost-jelenséghez hasonló folyamat megjelenése okozza. Amikor ugyanis a hűtőfolyadékot hirtelen hőmérsékletváltozás éri gőzbuborékok keletkeznek a fűtött felületen így gőzdugók alakulnak ki, amelyek forráskρίζishez vezethetnek. A buborékok, amikor leválnak a felületről befolyásolhatják a fali hővezetést is. Egy ilyen hőáramlási folyamatot láthatunk a képen is. (15. ábra)

4.2 Az acél edzése

Az acél egyik edzési módszere a hirtelen lehűtés. Vastag munkadaraboknál annak megfelelően hosszú hűtési szakasz szükséges, hogy az egész munkadarab teljesen átedződjön. Gyakorlatilag a darabok olaj – vagy vízfürdőbe kerülnek. Leghatékonyabb a vízzel való edzés mert az jó hővezető. Bemerüléskor azonban kezdetben egy rossz hővezetésű vízgőzréteg keletkezik a munkadarab felszínén (ez a Leidenfrost jelenség). Figyelmet kell fordítani arra, hogy a munkadarab bemerítésekor teljes felületén biztosítva legyen egyenletes érintkezése a folyadékkal.

5 Következtetés

A jelenség tanulmányozása során megismerhettem több olyan fogalmat amelyekkel eddig nem volt lehetőségem.

Kísérleteim során megfigyelhettem a gyakorlatban is, hogyan lép fel a jelenség és lemérhettem a Leidenfrost pontot is, noha eredményeim kissé eltérőek a szakirodalom által adott értékektől, ami a kísérleti berendezéseim hiányosságainak tudható be. A 16. ábrán látható egy elméleti ábra is, amely ugyancsak a Leidenfrost jelenséget szemlélteti.

Többek között megtudtam azt is, hogy ez a jelentéktelennek tűnő jelenség nagyobb szerepet játszik az iparban, mint azt gondoltam volna.

Összességben mondhatjuk, hogy ennek az érdekes jelenségnek pozitív és negatív hatása is van környezetére.

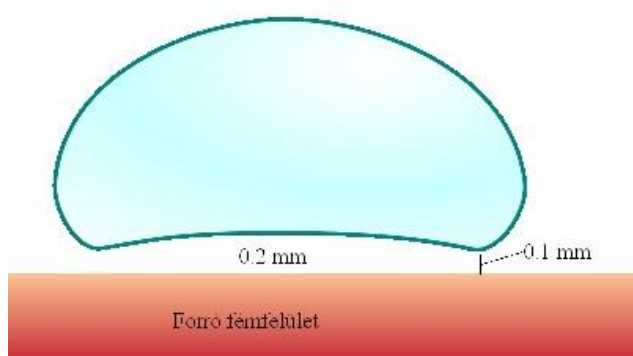
6 Irodalom:

1. Máthé Enikő: Kísérletek: Levegőben lebegő vízgolyó, Firka folyóirat, 2006-2007-es évfolyam, 4. szám)
2. Természettudományi Lexikon, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1967, 4. kötet
3. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Leidenfrost-t%C3%BCnem%C3%A9ny>
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Gottlob_Leidenfrost
5. J. D. Bernardin: „The Leidenfrost point: Experimental Study and Assessment of Existing Models” (ASME,1999)
<https://engineering.purdue.edu/BTPFL/BTPFL%20Publications/81.pdf> (az internetes oldalt 2012.05.06-án néztem meg)
6. Jearl Walker: “Boiling and the Leidenfrost Effect” (Cleveland State University)
http://darkwing.uoregon.edu/~linke/papers/Walker_leidenfrost_essay.pdf (2012.05.06)
7. http://www.tuzonjaras.com/tuzonjaras_biztonsag.html (2013.11.19)
8. <http://konyv.uw.hu/tuzonjaras.htm> (2013.11.19)

9. <https://www.crystec.com/klthsth.htm> (2013.11.19)
10. Fenntartható Atomenergia Technológiai Platform: „Stratégiai kutatási terv” (2011)
http://szanto.web.kfki.hu/faetp/dl/faetp_sra.pdf (2013.11.19)
11. Dr. Aszódi Attila: Atomreaktorok Termohidraulikája
http://energetika.13s.hu/pub/_atomenergetika_szakirany_/Reaktorok%20termohidraulika_ja/Aszodi_TH_08_forras-kondenzacio-2008.pdf (2013.11.19)
12. Nukenerg: Pályázat végbeszámoló: “Új nukleáris energiatermelési módszerek technológiai elemeinek fejlesztése ” (2005-2012)
http://www.rmki.kfki.hu/~zoletnik/NUKENERG/NUKENERG_vegbeszamolo.pdf
(2013.11.19)
13. Nukenerg: Pályázat beszámoló: “Új nukleáris energiatermelési módszerek technológiai elemeinek fejlesztése ” (2010-2012)
http://www.rmki.kfki.hu/~zoletnik/NUKENERG/nukenerg_beszamolo_2012.pdf
(2013.11.19)
14. Gróf Gyula: “Hőközlés: Ideiglenes jegyzet” (Budapest, 1999)
ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/muszaki_hotan/Hokozles_jegyzet.pdf (2013.11.20)

Külön köszönet Péter Katika kutató fizikusnak.

7 Melléklet



1. ábra

A felület anyaga	Leidenfrost-pont(°C)
Ezüst	157
Grafit	310
Bronz	222
Réz	250
Rozsdamentes acél	280-310
Alumínium	235
Arany	<184

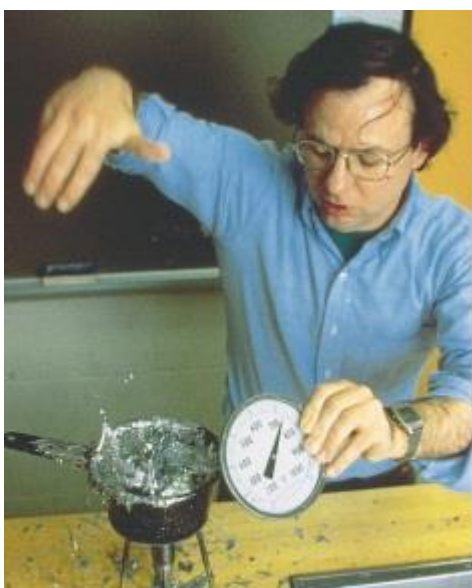
2. ábra



3. ábra



4. ábra



5. ábra

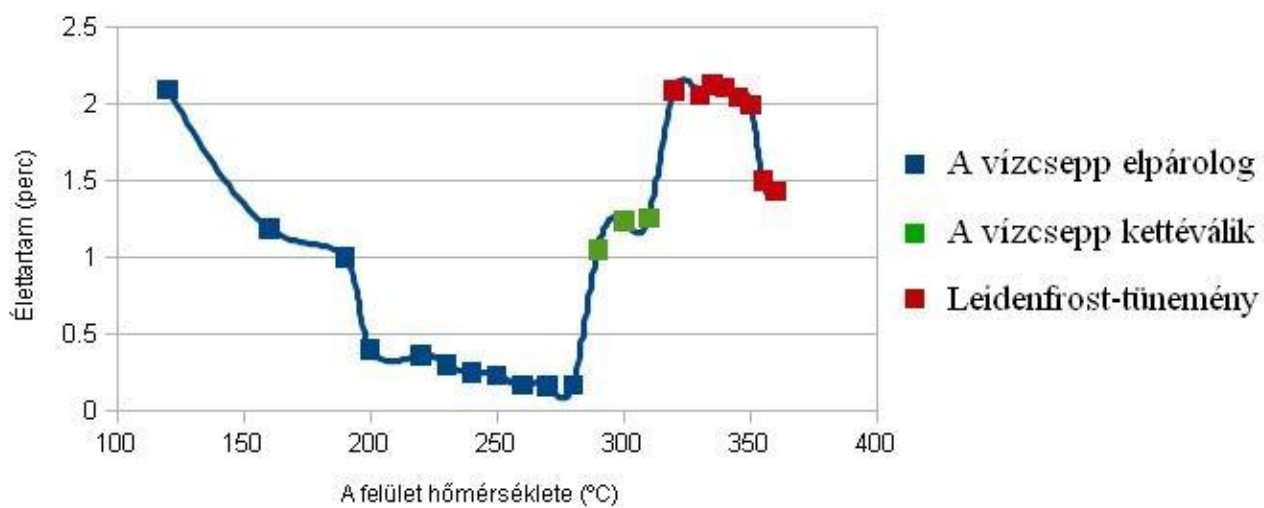


6. ábra



7. ábra

A cseppek élettartama forró felületen



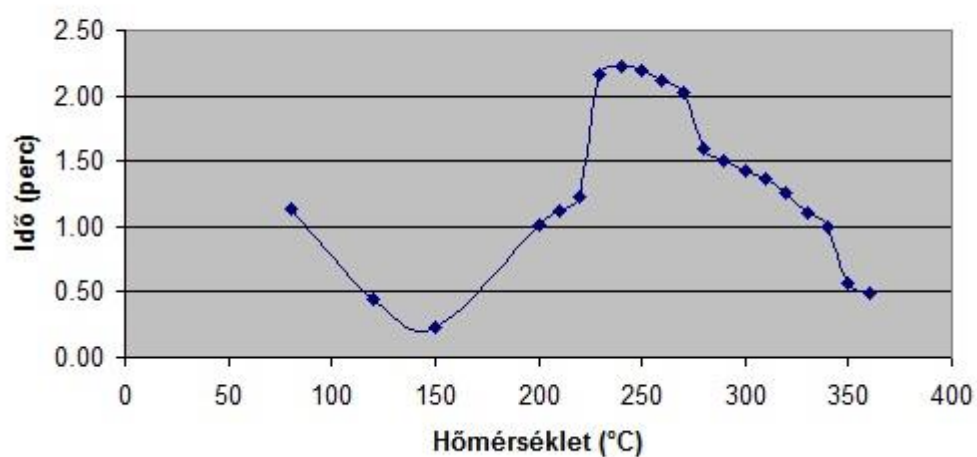
8. ábra

Hőmérséklet (°C)	120	160	190	200	220	230	240	250	260	270	280
Idő (perc)	2,10	1,19	1,00	0,40	0,36	0,30	0,25	0,23	0,17	0,16	0,17

Hőmérséklet (°C)	290	300	310	320	330	335	340	345	350	355	360
Idő (perc)	1,05	1,24	1,26	2,09	2,06	2,13	2,11	2,05	2,00	1,50	1,43

9. ábra

Az alkohol cseppek élettartama forró felületen

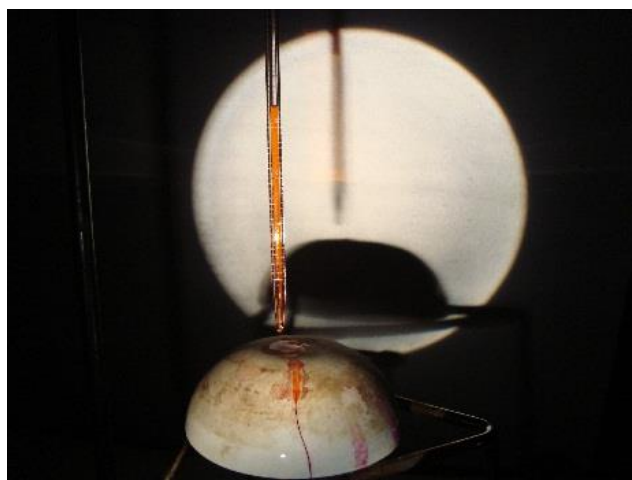


10. ábra

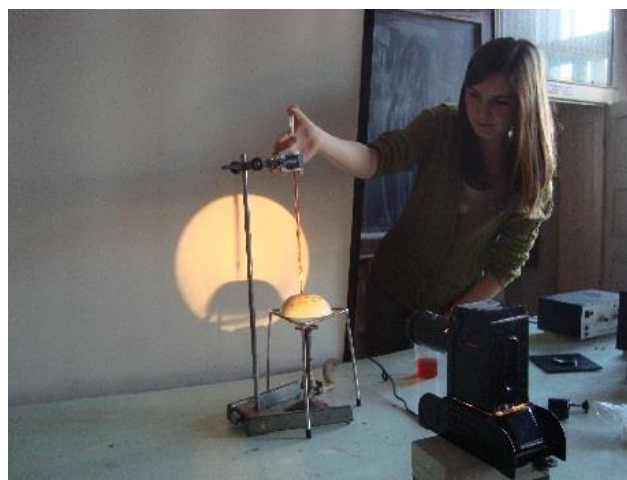
Hőmérséklet (°C)	80	120	150	200	210	220	230	240	250	260
Idő (perc)	1.14	0.45	0.23	1.01	1.12	1.22	2.17	2.23	2.19	2.11

Hőmérséklet (°C)	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
Idő (perc)	2.02	1.59	1.51	1.42	1.37	1.26	1.11	1.00	0.57	0.49

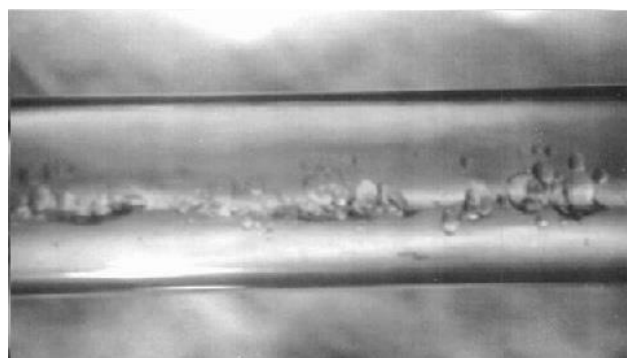
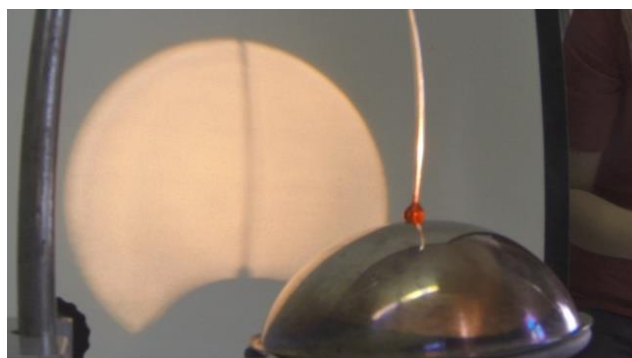
11. ábra



12. ábra

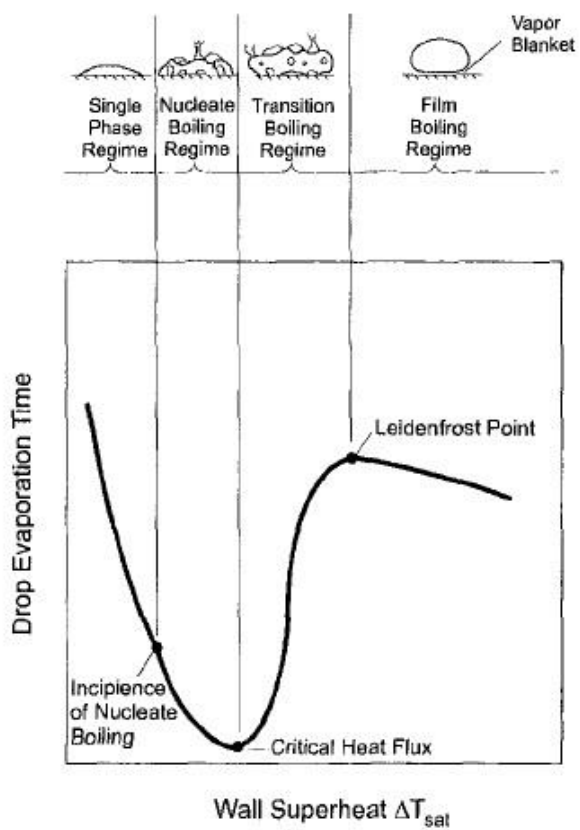


13. ábra



14. ábra

15. ábra



16. ábra